

Evaluasi Kestabilan Transien dan Penyempurnaan Sistem Pelepasan Beban pada PT. Kaltim Daya Mandiri Akibat Pengembangan Sistem Kelistrikan pada Tursina

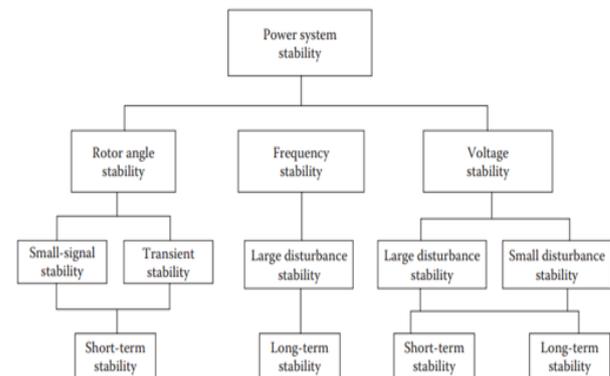
Tiara Anindita Yulia, Margo Pujiantara, dan Ardyono Priyadi
Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: margo@ee.its.ac.id

Abstrak—Kontinuitas dan keandalan operasi dalam suatu sistem tenaga listrik adalah hal yang harus dijamin kestabilannya. Sebuah sistem mampu dikatakan stabil ketika memenuhi syarat keseimbangan antara daya mekanik dari *prime mover* atau penggerak utama generator dengan daya *output* listrik. Apabila penggerak utama tidak dapat menyesuaikan putarannya dengan besar beban listrik maka akan menyebabkan kondisi sistem menjadi tidak stabil. Gangguan stabilitas transien memiliki kaitan dengan kendala besar yang terjadi secara tiba – tiba dan dalam kurun waktu yang pendek (*short-term*) seperti gangguan hubung singkat (*short circuit*), putusnya saluran secara tiba – tiba oleh perlatan CB (*Circuit Breaker*), serta pemindahan beban secara tiba – tiba. Kaltim Daya Mandiri (KDM) merupakan salah satu perusahaan utilitas dan energi yang didirikan dengan tujuan untuk menyediakan kebutuhan utilitas pada fasilitas produksi dan perumahan serta perusahaan – perusahaan lain yang berada di lingkungan Kaltim Industrial Estate. PT. Kaltim Daya Mandiri mengalami perkembangan pada sistem kelistrikannya pada wilayah Tursina dengan total jumlah penambahan beban sebesar 13.8 MW. Dari seluruh skenario yang telah dijalankan, dapat dikatakan bahwa sistem kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri akan kembali berjalan pada kondisi *continuous operation* setelah adanya gangguan dengan diikuti adanya skema pelepasan beban dengan metode status dan frekuensi 6 langkah. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan rekomendasi bahwa metode status dapat digunakan sebagai metode utama diikuti dengan metode frekuensi 6 langkah sebagai *back up* apabila terjadi kegagalan.

Kata Kunci—Pelepasan Beban, PT. Kaltim Daya Mandiri, Stabilitas Transien.

I. PENDAHULUAN

KONTINUITAS dan keandalan operasi dalam suatu sistem tenaga listrik adalah hal yang harus dijamin kestabilannya, lebih lagi untuk sistem kelistrikan dengan skala yang besar yang mencakup lebih dari dua generator dan memasok beban yang banyak dalam waktu bersamaan. Apabila kontinuitas daya tidak terpenuhi dalam sistem maka kerugian besar dapat terjadi [1]. Sebuah sistem mampu dikatakan stabil ketika memenuhi syarat keseimbangan antara daya mekanik dari *prime mover* atau penggerak utama generator dengan daya *output* listrik. Peningkatan atau penurunan beban yang terjadi dapat memengaruhi daya *output* listrik, maka perubahan tersebut harus diimbangi dengan perubahan daya mekanik dari penggerak utama. Lebihnya daya mekanik yang dihasilkan oleh penggerak utama terhadap daya listrik dapat menyebabkan percepatan putaran pada generator ataupun sebaliknya. Apabila penggerak utama tidak dapat menyesuaikan putarannya



Gambar 1. Klasifikasi kestabilan sistem tenaga.

dengan besar beban listrik maka akan menyebabkan kondisi sistem menjadi tidak stabil [2].

Gangguan stabilitas transien memiliki kaitan dengan kendala besar yang terjadi secara tiba – tiba dan dalam kurun waktu yang pendek (*short-term*) seperti gangguan hubung singkat (*short circuit*), putusnya saluran secara tiba – tiba oleh perlatan CB (*Circuit Breaker*) karena adanya gangguan hubung singkat, serta pemindahan beban secara tiba – tiba. Pada gangguan stabilitas transien yang disebabkan oleh operasi pada frekuensi yang abnormal, terdapat dua pertimbangan utama yang berkaitan dengan peralatan yang digunakan pada saat bekerja pada frekuensi yang abnormal. Kedua hal tersebut adalah peralatan harus memiliki proteksi dari kerusakan yang disebabkan oleh operasi pada frekuensi yang normal dan pencegahan dari efek kaskade yang menuntun kepada pemadaman pembangkit selagi kondisi yang membatasi belum tercapai pada operasi frekuensi abnormal [1]. Pada generator sinkron, terdapat dua pertimbangan utama terkait pengoperasiannya di luar dari standar jangkauan frekuensi. Kedua hal tersebut adalah penuaan komponen mekanik yang lebih cepat yang mana dapat terjadi pada keadaan *underfrequency* dan *overfrequency* serta pertimbangan suhu yang menjadi kepentingan utama untuk operasi *underfrequency* [1].

Masalah kestabilan transien dapat memengaruhi stabilitas dari suatu sistem tenaga listrik terutama pada industri – industri besar seperti PT. Kaltim Daya Mandiri. PT. Kaltim Daya Mandiri mengalami perkembangan pada sistem kelistrikannya pada wilayah Tursina. Pengembangan tersebut berupa penambahan beban dengan total sebesar 13,8 MW. Oleh karena itu, studi stabilitas transien dibutuhkan untuk mengetahui kestabilan transien saat terjadi masalah transien. Oleh karenanya, pada tugas akhir ini analisis yang dilakukan

Tabel 1.
Standar Operasi Frekuensi

Remarks	Frequency Range (Hz)	Time (Up to)	Keterangan
Prohibited	>51,5	Prohibited	Over Frequency
Restrictive	50,42 – 51,5	10 min	Over Frequency
Continuous	49,58 – 50,42	Continuous	Normal
Restrictive	48,75 – 49,58	50 min	Under Frequency
Restrictive	48,17 – 48,75	10 min	Under Frequency
Restrictive	47,67 – 48,17	3 min	Under Frequency
Prohibited	<47,67	Prohibited	Under Frequency

Tabel 2.
Skema Pelepasan Beban 6 Langkah

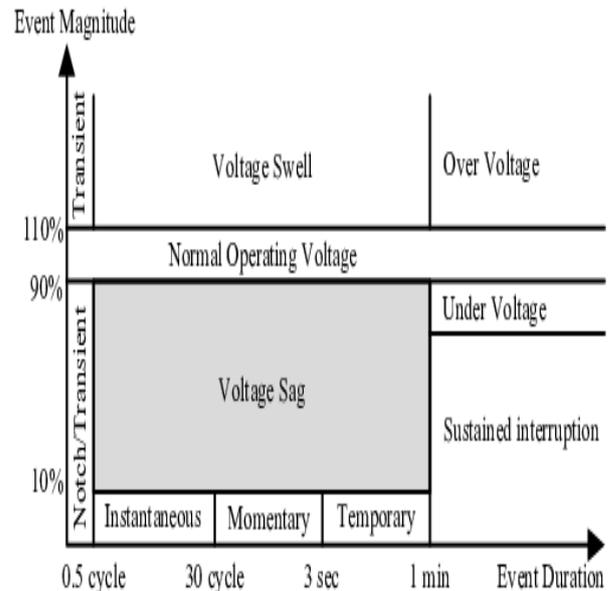
Step	Frequency Trip Point	% of Load Shed	Fixed Time Delay on Relay
1	59,5 Hz	10	6 cycles
2	59,2 Hz	10	6 cycles
3	58,8 Hz	5	6 cycles
4	58,8 Hz	5	14 cycles
5	58,4 Hz	5	14 cycles
6	58,4 Hz	5	21 cycles

adalah meliputi kestabilan frekuensi dan tegangan. Selain itu, analisis mekanisme pelepasan beban juga dilaksanakan dalam mengatasi gangguan transien yang terjadi. Perencanaan dari sistem pelepasan beban yang dilakukan menggunakan mekanisme standar frekuensi dengan adanya pertimbangan aliran daya dan studi kasus kestabilan transien dari sistem PT. Kaltim Daya Mandiri sehingga diharapkan setelah analisis kestabilan transien tersebut telah dilakukan pada PT. Kaltim Daya Mandiri setelah pengembangan sistem kelistrikkannya pada Tursina dapat mengatasi gangguan sekecil mungkin dan dapat melindungi peralatan – peralatan listrik yang ada.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kestabilan Sistem Tenaga

Stabilitas dari sistem tenaga menunjukkan kemampuan dari sebuah sistem tenaga listrik, di mana pada kondisi operasi awal tertentu, sistem akan berusaha untuk memperoleh kembali keadaan pada operasi stabil setelah dikenai oleh gangguan. Ketika dikaitkan dengan gangguan transien, stabilitas dari sistem bergantung pada sifat gangguan serta kondisi operasi awal. Gangguan tersebut dapat terjadi pada skala yang kecil maupun besar. Pada gangguan skala yang kecil dengan bentuk perubahan beban yang terjadi terus menerus, maka sistem harus dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi ini dan berhasil memenuhi permintaan beban. Sistem juga harus dapat bertahan pada beberapa gangguan lainnya seperti hubung singkat pada saluran transmisi dan kehilangan daya dari generator. Kestabilan sistem tenaga dibagi menjadi beberapa klasifikasi menjadi beberapa kategori dan sub kategori yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pertama, stabilitas sudut rotor berkaitan dengan kemampuan mesin sinkron yang saling berhubungan dari suatu sistem tenaga untuk tetap sinkron dalam kondisi operasi normal dan setelah mengalami gangguan. Kedua, stabilitas frekuensi berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensinya tetap pada standar setelah gangguan sistem yang



Gambar 2. Standar kestabilan tegangan.

parah yang mengakibatkan ketidakseimbangan yang signifikan antara pembangkitan sistem secara keseluruhan dan beban. Ketiga, stabilitas tegangan dapat diartikan sebagai kapabilitas pada suatu sistem tenaga listrik dalam menjaga kestabilan tegangan pada setiap bus dari sistem setelah terjadi gangguan (Gambar 1) [3].

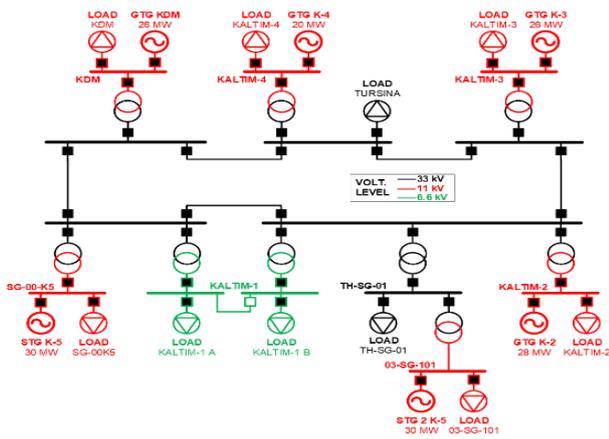
B. Mode Governor

Frekuensi merupakan komponen penting dalam menjaga sebuah kestabilan sistem tenaga listrik. Dalam menjaga frekuensi agar tetap stabil pada operasi normal, kecepatan putar turbin harus diatur agar tetap konstan. Kecepatan dari turbin ini diatur oleh sebuah alat yaitu *governor*. Kerja dari sebuah *governor* berhubungan dengan daya elektrik ada pada sistem. Apabila kebutuhan beban bertambah maka permintaan daya elektrik yang ada pada sistem akan meningkat dan sebaliknya. Oleh karenanya, *governor* akan menyesuaikan kebutuhan tersebut dengan mengatur katup bahan bakar kepada turbin untuk membuka dan menutup. Dalam pengoperasiannya, mode dari operasi *speed governor* terbagi menjadi dua yaitu *droop mode* dan *isochronous mode*.

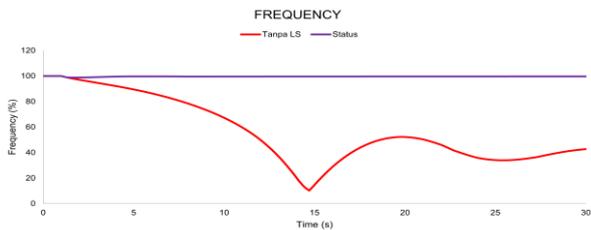
Isochronous merupakan kata sifat yang memiliki arti kecepatan konstan. Mode *isochronous* pada *governor* akan menyesuaikan katup dari turbin untuk membawa frekuensi kembali pada nilai nominalnya atau pada nilai yang telah ditetapkan. Mode *isochronous governors* tidak akan dapat dipakai ketika terdapat dua atau lebih *units* yang tersambung pada sistem yang sama karena setiap generator harus memiliki pengaturan kecepatan yang sama. Apabila tidak, beberapa generator akan saling beradu, setiap generatornya akan berusaha untuk mengontrol frekuensi sistem sesuai dengan pengaturannya. Pada beban stabil dengan pembagian dua atau lebih unit yang beroperasi paralel, *governor* akan dilengkapi dengan sebuah karakteristik di mana kecepatan akan menurun seiring dengan meningkatnya beban. Karakteristik tersebut yaitu karakteristik dari mode *droop* [4].

C. Pelepasan Beban

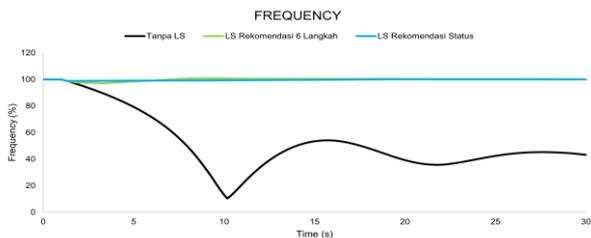
Load Shedding atau skema pelepasan beban ialah cara yang dapat digunakan dalam mempertahankan kestabilan



Gambar 3. SLD sistem kelistrikan PT. KDM.



Gambar 4. Respons frekuensi (K3K4 Off - K2 Trip) sistem eksisting.



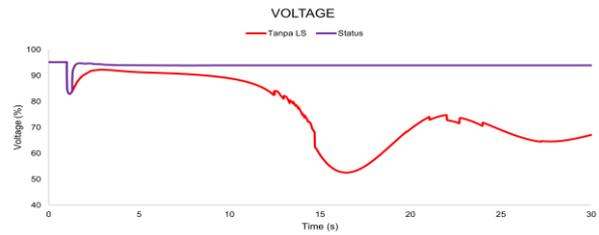
Gambar 5. Respons frekuensi (K3K4 Off - K2 trip) sistem rekomendasi.

setelah gangguan terjadi dalam sebuah sistem. Apabila gangguan yang terjadi pada sistem menyebabkan besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh pembangkit tidak dapat memenuhi konsumsi beban maka penggerak utama dari sebuah generator akan mengalami perlambatan karena beban yang ditanggung melebihi kemampuannya. Pelepasan beban ini perlu untuk dilakukan untuk mengatasi turunnya frekuensi akibat perlambatan dari penggerak utama dari sebuah generator tersebut. Skema pelepasan beban yang dilakukan harus mencakup beberapa komponen penting yang perlu dipertimbangkan. Komponen tersebut adalah jumlah beban yang harus dilepas sesuai dengan tahapnya, frekuensi dan *delay* waktu yang telah dirancang sejak awal. Pelepasan beban yang dilakukan juga harus dapat menjaga frekuensi sistem agar tetap berada pada kondisi *continuous operation* atau standar operasi normal frekuensi yang diperbolehkan [5].

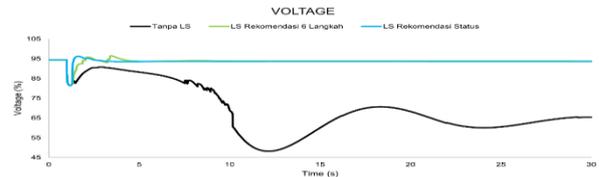
D. Standar Analisis Kestabilan Transien

Standar yang digunakan dalam menentukan operasi frekuensi yang diperbolehkan pada *steam turbin* generator adalah IEEE Std. C37. 102-2006 menggunakan frekuensi 50 Hz. Operasi frekuensi yang diperbolehkan dapat dilihat pada Tabel [6].

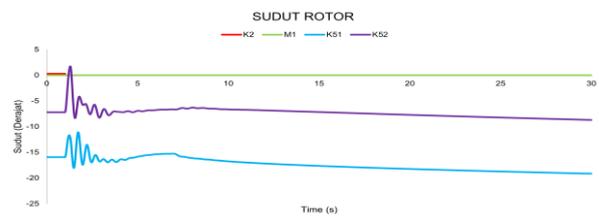
Standar yang digunakan dalam menentukan operasi tegangan yang diperbolehkan pada fenomena elektromagnetik sistem tenaga adalah IEEE Std 1159-2019. Standar operasi tegangan yang digunakan dibedakan



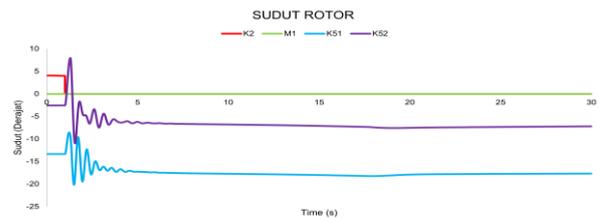
Gambar 6. Respons tegangan (K3K4 Off - K2 Trip) sistem eksisting.



Gambar 7. Respons tegangan (K3K4 Off -K2 trip) sistem rekomendasi.



Gambar 8. Respons sudut rotor (K3K4 Off -K2 trip) sistem eksisting.



Gambar 9. Respons sudut rotor (K3K4 Off-K2 trip) sistem rekomendasi.

berdasarkan kategori dan karakteristiknya yang dapat dilihat pada Gambar [7].

E. Skema Pelepasan Beban

Standar yang digunakan dalam melakukan skema pelepasan beban dalam proteksi frekuensi abnormal dari sebuah pembangkit terbagi menjadi dua jenis berdasarkan langkahnya pada ANSI/IEEE C37. 106-1987. Pada simulasi ini, langkah yang digunakan adalah 6 langkah yang dapat dilihat pada Tabel [8].

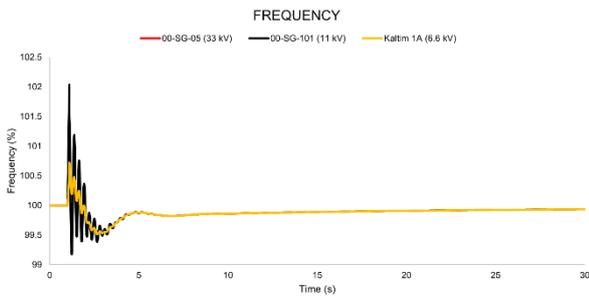
III. METODOLOGI

A. Studi Literatur

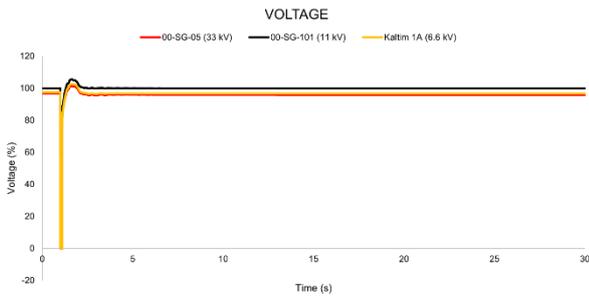
Studi literatur merupakan tahap pencarian data dan literatur yang bertujuan untuk mencari sumber yang relevan serta dapat dipercaya sehingga memperkuat pengerjaan tugas akhir ini. Pada tahap ini dilakukan pembelajaran melalui literasi dan referensi berupa jurnal, paper serta buku.

B. Pengumpulan Data

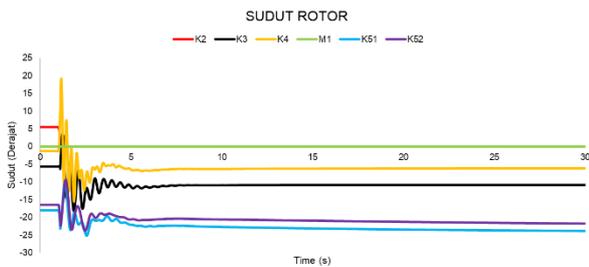
PT Kaltim Daya Mandiri memiliki 6 (enam) unit pembangkit dalam memenuhi kebutuhan listrik. Pola operasi normal yang digunakan menggunakan 6 (enam) unit pembangkit yang berada dalam mode droop. Total daya pada sistem adalah 85 MW untuk sistem eksisting dan $\pm 99,4$ MW setelah adanya pengembangan. Berikut merupakan rating



Gambar 10. Respons frekuensi pada gangguan hubung singkat di bus 00-SG-01.



Gambar 11. Respons tegangan pada gangguan hubung singkat di bus 00-SG-01.



Gambar 12. Respons sudut rotor pada gangguan hubung singkat di bus 00-SG-01.

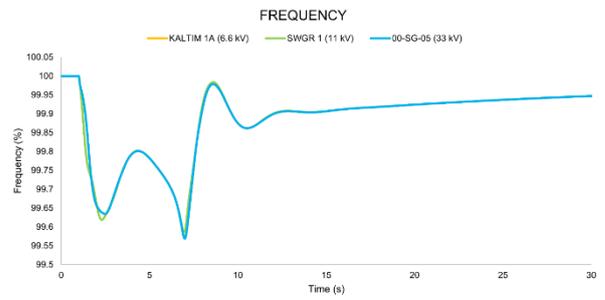
generator yang diterapkan pada PT Kaltim Daya Mandiri :

1. GTG K-2, 11 kV, 3000 RPM, 50 Hz, 45.5 MVA, 0.8 PF
2. GTG K-3, 11 kV, 3000 RPM, 50 Hz, 37.5 MVA, 0.8 PF
3. GTG K-4, 11 kV, 3000 RPM, 50 Hz, 27 MVA, 0.8 PF
4. GTG KDM, 11 kV, 3000 RPM, 50 Hz, 42.5 MVA, 0.8 PF
5. STG K5, 11 kV, 1500 RPM, 50 Hz, 37.5 MVA, 0.8 PF
6. STG2 K5, 11 kV, 3000 RPM, 50 Hz, 37.5 MVA, 0.8 PF

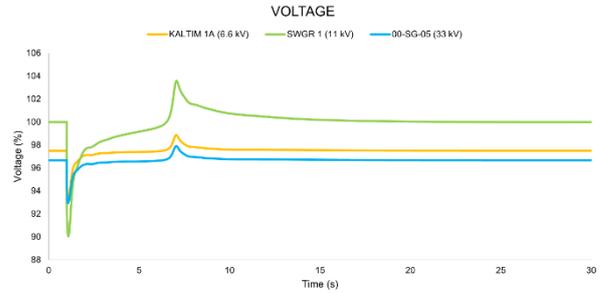
Selain itu, PT Kaltim Daya Mandiri menggunakan 3 (tiga) buah jenis atau tipe pada governor yaitu GGOV3 (GTG K-2, GTG K-3, GTG K-4, Alsthom KDM), 2301 (STG K5) dan ST (STG2 K5) (Gambar 3).

C. Pemodelan Sistem dan Skenario Pelepasan Beban

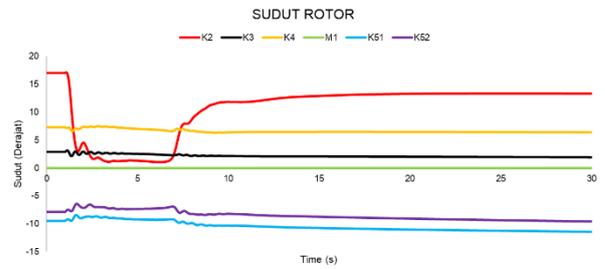
Pemodelan sistem dilakukan dalam bentuk diagram satu garis menggunakan software ETAP Power Station 12.6.0. Pada tahap pemodelan sistem, data mengenai spesifikasi peralatan yang didapatkan akan dimasukkan dalam bentuk diagram satu garis. Selanjutnya, pada tahap ini akan dilakukan pembuatan skenario pelepasan beban. Dengan adanya beberapa macam skenario, diharapkan permasalahan yang terjadi di lapangan dapat diselesaikan dengan efektif dan efisien. Secara umum, metode yang digunakan adalah metode *frequency based* dan *status indicated*. Dari kedua metode tersebut maka didapatkan skenario yaitu tanpa pelepasan beban, pelepasan beban sistem eksisting, pelepasan beban rekomendasi berbasis frekuensi 6 langkah dan



Gambar 13. Respons frekuensi saat motor M 101 mengalami starting.



Gambar 14. Respons tegangan saat motor M 101 mengalami starting.



Gambar 15. Respons sudut rotor saat motor M 101 mengalami starting.

menggunakan metode status.

D. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk memperoleh data dari skenario load shedding yang telah dilakukan. Gangguan yang diberikan berupa kejadian trip pada generator, hubung singkat serta *motor starting*.

E. Analisis Hasil Simulasi

Analisis pertama yaitu *power flow* dengan tujuan untuk mengetahui aliran daya pada diagram satu garis dan menganalisis skenario operasi yang digunakan. Analisis kedua yaitu *kestabilan transien* yang bertujuan untuk mengetahui respons frekuensi, tegangan, daya mekanik, daya elektrik serta sudut rotor. Tujuan akhir dari tahap analisis hasil simulasi ini adalah memberikan kesimpulan mengenai kestabilan sistem akibat generator trip, hubung singkat serta *motor starting* serta memberikan rekomendasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi studi kestabilan transien pada PT. Kaltim Daya Mandiri terhadap gangguan setelah adanya pengembangan sistem kelistrikan pada Tursina dilakukan untuk mengetahui respons sistem terhadap berbagai kemungkinan gangguan yang terjadi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gangguan yang akan disimulasikan adalah berupa *generator outage*, *short circuit* dan *motor starting*. Dari gangguan tersebut terdapat 6 (enam) buah skenario yang disimulasikan.

Skenario tersebut adalah A (tanpa *load shedding*), B (*load shedding* sistem eksisting), C (*load shedding* 6 langkah), D (*load shedding* metode status), E (*load shedding* akibat *short circuit*) dan F (*load shedding* akibat *motor starting*).

A. Studi Kasus Generator Outage

Dengan adanya perbedaan total beban antara sistem eksisting dan juga rekomendasi maka perlu adanya evaluasi mengenai sistem pelepasan beban yang ada PT. Kaltim Daya Mandiri. Pada sub-bab ini akan membandingkan skenario A (tanpa *load shedding*), B (sistem eksisting), C (*load shedding* 6 langkah) dan skenario D (*load shedding* metode status) sehingga dapat memberikan rekomendasi kepada PT. Kaltim Daya Mandiri setelah adanya pengembangan sistem kelistrikan pada Tursina.

Pada kasus generator *outage* ini, kejadian paling buruk yang terjadi adalah kejadian ketika 2 (dua) buah generator mati yaitu generator K-3 dan K-4 serta terjadi *trip* atau *outage* pada generator K-2. Dari kejadian tersebut, maka sistem mengharuskan untuk melakukan *load shedding* agar sistem dapat menjaga kontinuitasnya.

Pada sistem eksisting menggunakan metode status, beban yang harus dilepas adalah sebesar 16.8 MW untuk mencapai frekuensi *steady state* sebesar 99.73% (49.87 Hz) yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sedangkan pada sistem setelah adanya pengembangan atau dalam hal ini merupakan skema rekomendasi, skema status rekomendasi diketahui memiliki respons frekuensi yang baik karena ketidakstabilan pada sistem akan langsung dihilangkan dengan jeda selama 0,3 detik dengan melepaskan total daya sebesar 28.6 MW dan mencapai nilai frekuensi *steady state* sebesar 100.02% (50.01 Hz). Apabila sistem pelepasan beban berbasis status rekomendasi gagal bekerja, maka skema pelepasan beban rekomendasi berbasis frekuensi 6 langkah sebagai cadangan membutuhkan pelepasan beban sebanyak 6 langkah dan melepaskan total daya sebesar 34 MW dan mencapai frekuensi *steady state* sebesar 100.14% (50.07 Hz).

Hasil tersebut menunjukkan pada saat kondisi transien terjadi penurunan tegangan hingga di bawah 90%. Sedangkan pada keadaan *steady state* tegangan akan menunjukkan kondisi yang normal, yaitu pada 93.95% pada skema eksisting, 93.83% pada skema rekomendasi *load shedding* 6 langkah dan 93.63% pada skema status rekomendasi (Gambar 6 dan Gambar 7).

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan respons sudut rotor baik pada sistem eksisting maupun setelah adanya pengembangan sistem kelistrikan menunjukkan bahwa perubahan sudut yang terjadi pada keadaan stabil (*steady-state*) masih berada dalam keadaan diperbolehkan untuk beroperasi karena keadaan stabil yang terjadi tidak melebihi 90° dari kondisi referensinya [9].

B. Studi Kasus Hubung Singkat

Pada kasus hubung singkat ini, kejadian paling buruk adalah ketika terjadi hubung singkat pada bus dengan level tegangan 33 kV. Hubung singkat pada level tegangan 33 kV akan disimulasikan pada bus 00-SG-01 pada detik ke-1. Lalu *circuit breaker* INC-11, CP-11 dan CP-52 akan dibuka pada detik 0,1 sekon setelah adanya gangguan untuk mengatasi gangguan dan melindungi sistem dari adanya hubung singkat.

Pada Gambar, Gambar 11, dan Gambar menunjukkan bahwa pada respons frekuensi setelah terjadi gangguan, sistem

masih dapat mempertahankan kestabilannya pada 99.97% (49.99 Hz) dari frekuensi normal [6]. Pada respons tegangan, keadaan stabil pada setiap bus setelah adanya gangguan hubung singkat pada Bus 33 kV berada dalam batas aman dan dapat beroperasi [7]. Pada respons sudut rotor, menunjukkan respons sudut rotor baik pada sistem menunjukkan bahwa perubahan sudut yang terjadi pada keadaan stabil (*steady-state*) masih berada dalam keadaan diperbolehkan untuk beroperasi karena keadaan stabil yang terjadi tidak melebihi 90° dari kondisi referensinya [9].

C. Studi Kasus Motor Starting

Studi kasus pada skenario F ini disimulasikan dengan ID motor yaitu M 101 yang memiliki kapasitas 5000 kW dengan metode starting berupa *direct-online* pada detik pertama saat seluruh generator (6 generator) pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Daya Mandiri menyala.

Gambar, Gambar 14, dan Gambar menunjukkan bahwa pada respons frekuensi bus pada setiap level tegangan menunjukkan keadaan stabil pada ketiga bus tersebut berada pada keadaan *continuous operation* dan diperkenankan untuk beroperasi [6]. Pada respons tegangan, baik kenaikan, penurunan hingga keadaan stabil pada tegangan tersebut berada dalam kondisi yang baik dan diperkenankan untuk beroperasi [7]. Pada respons sudut rotor menunjukkan respons sudut rotor baik pada sistem menunjukkan bahwa perubahan sudut yang terjadi pada keadaan stabil (*steady-state*) masih berada dalam keadaan diperbolehkan untuk beroperasi karena keadaan stabil yang terjadi tidak melebihi 90° dari kondisi referensinya [9].

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari simulasi dan analisis, dapat diambil beberapa kesimpulan yang dijelaskan sebagai berikut: (1) PT. Kaltim Daya Mandiri memiliki 6 generator (4 generator gas turbin dan 2 *steam* turbin) untuk memenuhi kebutuhan beban pada sistem eksisting dan setelah adanya pengembangan sistem kelistrikan. (2) Pada kestabilan transien kondisi eksisting, seluruh konfigurasi tersebut dapat dimitigasi dengan menggunakan skema *load shedding* metode status dengan hasil respons yang sesuai dengan standar. (3) Pada kestabilan transien setelah adanya pengembangan sistem kelistrikan, seluruh konfigurasi tersebut dapat dimitigasi menggunakan baik dengan skema *load shedding* 6 langkah dan status dan memiliki hasil respons yang sesuai dengan standar. (4) Pelepasan beban menggunakan skema rekomendasi berbasis status dan frekuensi 6 langkah dapat digunakan pada PT. Kaltim Daya Mandiri. (5) Pada kestabilan transien dengan studi kasus berupa hubung singkat pada bus dengan 3 level tegangan (33 kV, 11 kV dan 6,6 kV) memiliki respons yang sesuai dengan standar. (6) Pada kestabilan transien dengan studi kasus berupa *motor starting* pada motor M101 didapatkan bahwa respons frekuensi dan tegangan pada 3 level tegangan yang memiliki nilai yang sudah sesuai dengan standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANSI and IEEE, *IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*, 1st ed. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1987. doi: 10.1109/IEEESTD.1987.79552, ISSN: 978-0-7381-1707-2.

- [2] I. Hafidz, "Analisis kestabilan transien pada project pelabuhan kontainer Pakistan transient stability analysis in Pakistan deep water container port," *J. Teknol. dan Terap. Bisnis*, vol. 2, no. 1, pp. 42–47, 2019, doi: 10.0301/jttb.v2i1.59.
- [3] L. L. Grigsby, *Electrical Power Engineering Handbook: Power System Stability and Control*, 3rd ed., vol. 53, no. 9. New York: CRC Press, 2012. doi: 10.1201/b12113, ISSN: 1098-6596.
- [4] P. S. Kundur, *Power System Stability*, 3rd ed. New York: CRC Press, 2012, ISSN: 9781315216768.
- [5] A. Khoiriatis, "Analisa Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Akibat Penambahan Pembangkit Pada Sistem Kelistrikan New Island Tursina PT. Pupuk Kalimantan Timur," Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [6] IEEE, *Guide for AC Generator Protection*, 1st ed., vol. 2006, no. February. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2006, ISSN: 0738152498.
- [7] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, 1st ed., vol. 2019. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995, ISSN: 978-0-7381-5940-9.
- [8] IEEE, *An American National Standard IEEE Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*, 1st ed. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1987.
- [9] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis*, 1st ed. United States of America: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990, ISSN: 0471092622.